

DUAL FEEDBACK CONTROL DC-DC BOOST CONVERTER MENGUNAKAN PI CONTROLLER

Marselin Jamlay¹, Wan Muhamad Faizal²
Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Surabaya (ITS)¹
Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bengkalis²
Email: sellydoank@hotmail.com, wanfaizal@polbeng.ac.id

Abstrak

Paper ini menampilkan desain dc-dc *boost converter* untuk meningkatkan efisiensi pada renewable power misalnya *fuel cell* yang menghasilkan tegangan output yang rendah. Pemodelan dc-dc *boost converter* dilakukan untuk sistem *open loop* dan *closed loop* untuk melihat *performance* dari sistem ketika terjadi variasi arus beban dan perubahan tegangan input. Paper ini akan menampilkan penggunaan kontrol PI sebagai *closed loop control* dc-dc *boost converter* untuk mengendalikan tegangan output *converter*. Akan dibahas perancangan sistem *boost converter*, selanjutnya akan dibuat model dan simulasi pada PSIM tanpa kontrol PI. Selanjutnya, digunakan kontrol PI dengan nilai K_p dan T_i yang diperoleh menggunakan metode trial error. Dan hasil menunjukkan bahwa rata-rata error yang dihasilkan terhadap perubahan beban sebesar 0.0029% dan terhadap perubahan tegangan input sebesar 0.017%, ini menunjukkan sistem mampu untuk mempertahankan tegangan outputnya agar tetap konstan.

Kata kunci : Boost Converter, PI Controller

Abstract

This paper presents the design of dc - dc boost converter to increase the efficiency of renewable power such as fuel cell that produces low output voltage. The modeling of the dc - dc boost converter is made for open loop and closed loop system to see the performance of the system when the load current variations and input voltage changes happen. This paper shows the use of PI control as closed loop control of dc - dc boost converter to control the output voltage of the converter. It discusses the boost converter system design, then, a model is made and simulation is conducted in PSIM without PI control. Then, PI control with K_p and T_i values obtained using the method of trial error is used. The results showed that the average error generated against the load changes is 0.0029 % while the average error generated against the changes in the input voltage is 0.017 %. It shows that the system is able to maintain its output voltage to remain constant.

Keywords : Boost Converter, PI Controller

PENDAHULUAN

Fuel cell merupakan salah satu sumber daya energi alternatif yang memiliki karakteristik *output* tegangan yang rendah dan arus yang tinggi sehingga diperlukan DC-DC *boost* untuk memperbaiki karakteristik tersebut (Seyezhai, R, 2011). Diperhatikan juga karakteristik rugi-rugi dari *fuel cell* sendiri mencakup *activation polarization*, *ohmic polarization* dan *concentration polarization* seperti pada gambar 1 (Kirubakaran, et al, 2009).

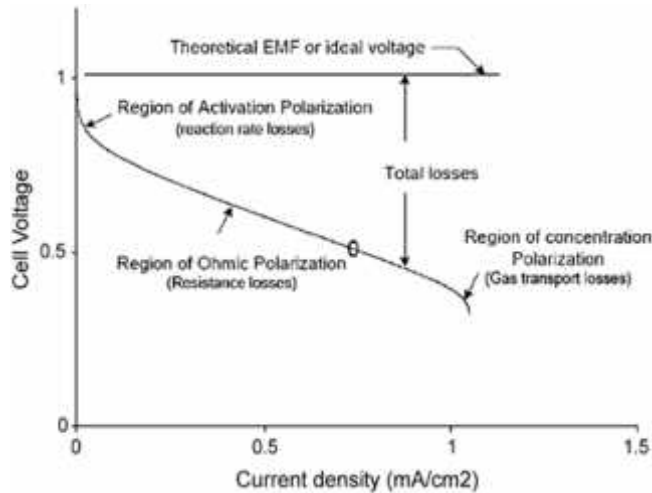
Jenis sel bahan bakar yang digunakan adalah *proton exchange membrane* (PEM) *fuel cell* yang merupakan jenis yang cocok digunakan pada aplikasi komersial karena

memiliki *low operating temperature*, *quick start up* dan *high power density*. Biasanya *fuel cell stack* yang tersedia memiliki tegangan operasi sekitar 26 Volt sampai 50 Volt (Kirubakaran, et al, 2009).

PEM *fuel cell* merupakan jenis *fuel cell* yang populer karena perangkatnya mudah dibawa, dapat ditempatkan dimana saja, dan sangat cocok bila diaplikasikan pada alat transportasi, sehingga lebih fleksibel bila dibandingkan dengan *distributed generation technologies* seperti pembangkit *wind* dan *Photovoltaic* (PV).

Prinsip kerja *boost* dapat diklasifikasikan ke dalam prinsip kerja *dc chooper step up*, tegangan keluaran dari *boost* selalu lebih

besar dari tegangan masukan. Konverter boost digunakan untuk menaikkan tegangan input dari solar *cell fuel cell*. Penggunaan konverter boost ini karena tegangan keluaran dari *fuel cell* yang relatif rendah.



Gambar 1. Karakteristik fuel cell (kurva V-I)

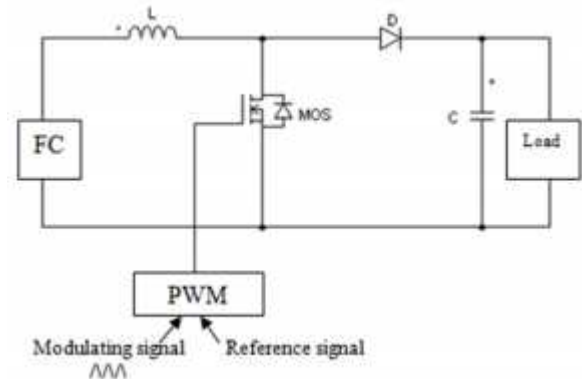
Untuk mengontrol *over steady state* dan memperbaiki *settling time* serta *overshoot* pada *output* tegangan converter selain itu untuk menjaga agar tegangan *output* konverter *boost* tetap konstan meskipun terjadi variasi beban dan tegangan input, maka dapat digunakan kombinasi kontroler P dan I sehingga setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler dapat saling menutupi dengan menggabungkan keduanya secara paralel menjadi kontroler proporsional dan integral (Sumita, D., et al, 2012). Elemen-elemen kontroler P dan I secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem dan menghilangkan *offset*. Keluaran kontroler PI merupakan jumlahan dari keluaran kontroler proporsional dan integral.

PERANCANGAN SISTEM

Pada gambar 2 menunjukkan struktur Dc-Dc *boost converter* dengan tegangan input berasal dari *fuel cell*.

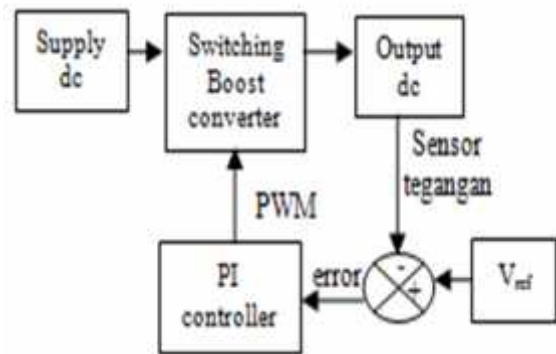
Selanjutnya adalah merancang rangkaian Dc-Dc *boost converter closed loop* dimana diharapkan memiliki kemampuan untuk menaikkan tegangan *input*-nya. Diasumsikan *fuel*

cell menghasilkan tegangan dc 38 Volt, dan melalui boost converter tegangan input 38 Volt dinaikan menjadi 100 Volt.



Gambar 2. Struktur Sistem

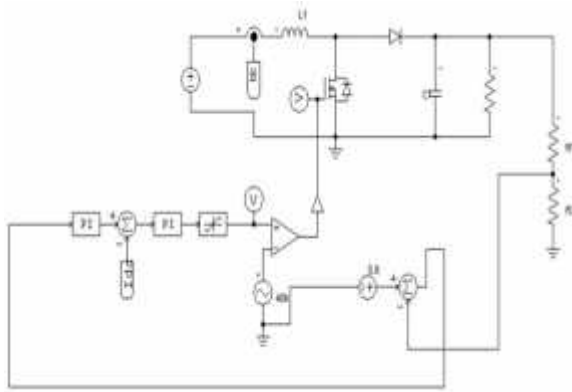
Tegangan keluaran dari *boost* konverter diatur melalui kontrol PI, dimana tegangan keluarannya di-jaga agar tetap konstan. Perancangan sistem ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram sistem

Untuk mendesain konverter yang baik diperlukan perhitungan nilai komponen-komponen yang tepat karena nilai komponen yang tidak tepat dapat menyebabkan hasil keluaran yang kurang baik (Hauke, B, 2009). Berikut adalah parameter yang dibutuhkan untuk mendesain *boost converter* :

Daya : 500 Watt
 V_{in} : 38 Volt
 V_{out} : 100 Volt
 Frekuensi *switching* : 40 kHz



Gambar 4. Rangkaian *closed loop* dc-dc boost converter

Duty Cycle

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} = 1 - \frac{38}{100} = 0.62 = 62\%$$

Menentukan resistor (beban)

$$I_{out} = \frac{P}{V_{out}} = \frac{500}{100} = 5 \text{ A}$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{100}{5} = 20 \Omega$$

Menentukan nilai inductor

$$\begin{aligned} \Delta I_L &= 0.4 \times I_{in} = 0.4 \times I_{out} \times \frac{V_{out}}{V_{in}} \\ &= 0.4 \times 5 \times \frac{100}{38} \\ &= 5.26 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \frac{V_{in} \times (V_{out} - V_{in})}{\Delta I_L \times f \times V_{out}} \\ &= \frac{38 \times (100 - 38)}{5.26 \times 40000 \times 100} \\ &= 0.112 \text{ mH} \end{aligned}$$

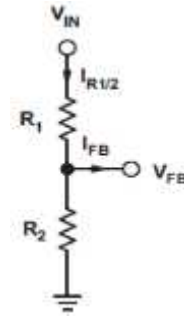
Menentukan nilai kapasitor :

Misalkan : $\Delta V_{out} = 2V$

$$C = \frac{I_{out} \times D}{\Delta V_{out} \times f} = \frac{5 \times 0.62}{2 \times 40000} = 38.75 \sim F$$

Menentukan Nilai resistansi R_1 dan R_2 untuk mengatur output V_{fb} .

Untuk $V_{ref} = 6.2$ Volt dan $R_2 = 20 \Omega$



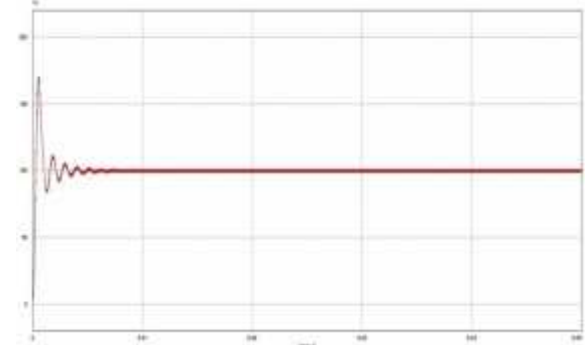
$$V_{fb} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{R_2 \times (V_{in} - V_{fb})}{V_{fb}} = \frac{20 \times (100 - 6.2)}{6.2} \\ &= 302.58 \Omega \end{aligned}$$

HASIL SIMULASI

Berikut ini adalah hasil simulasi rangkaian *open loop* dan *closed loop* Dc-Dc boost converter:

Open loop dc-dc boost converter



Gambar 5. Tegangan *output* untuk sistem *open loop* ($D=0.62$, $V_{in}=38V$, $R=20$, $I_o=4.99A$, $V_o=99.86V$)

Selanjutnya adalah melakukan pengujian ketika terjadi perubahan beban dapat dilihat respon sistem pada tabel 2 Berdasarkan pengujian tersebut rata-rata tegangan *output*

yang dihasilkan terhadap perubahan beban adalah 105.078V dengan rata-rata *error* 5.174 %.

Tabel 1. Tegangan *output boost* konverter *open loop system* (Pembebanan berubah)

D	V _{in} (Volt)	I _{in} (Ampere)	R (Ohm)	I _o (Ampere)	V _o (Volt)	error
0.62	38	36.45	10	9.97	99.76	0.24%
0.62	38	13.34	20	4.99	99.86	0.14%
0.62	38	6.77	40	2.49	99.93	0.07%
0.62	38	4.59	60	1.66	99.97	0.03%
0.62	38	3.49	80	1.25	100	0%
0.62	38	2.84	100	1	100.06	0.06%
0.62	38	2.75	120	0.88	106.2	6.2%
0.62	38	2.68	140	0.8	112.02	12.02%
0.62	38	2.39	160	0.7	113.04	13.04%
0.62	38	2.4	180	0.66	119.94	19.94%

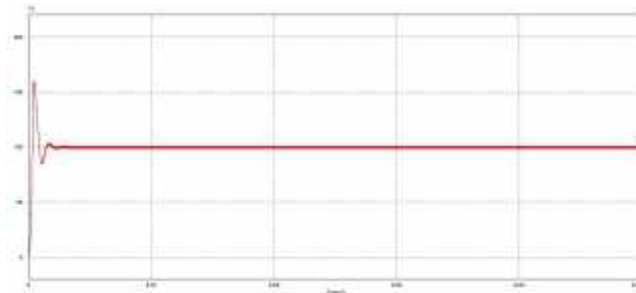
Pengujian selanjutnya adalah apabila terjadi fluktuasi tegangan *input* yang berasal dari *fuel cell*. Bagaimana respon dari sistem jika tegangan yang dihasilkan kurang dari 38 Volt atau lebih dari 38 Volt, dapat dilihat pa-

da tabel 2. Berdasarkan hasil simulasi ketika diberi tegangan input sebesar 26V-48V maka rata-rata tegangan *output* yang dihasilkan adalah sebesar 97.23V dengan rata-rata *error* sebesar 15.79 %.

Tabel 2. Tegangan *output boost* konverter *open loop system* (Tegangan input berubah)

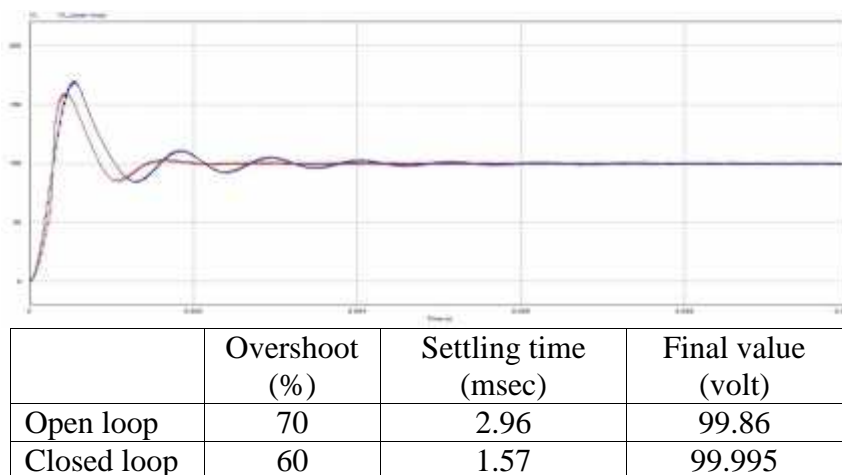
V _{in} (Volt)	R (Ohm)	V _o ref (Volt)	V _o (Volt)	error
26	20	100	68.32	31.68%
28	20	100	73.58	26.42%
30	20	100	78.83	21.17%
32	20	100	84.09	15.91%
34	20	100	89.35	10.65%
36	20	100	94.60	5.4%
38	20	100	99.86	0.14%
40	20	100	105.11	5.11%
42	20	100	110.37	10.37%
44	20	100	115.63	15.63%
46	20	100	120.88	20.88%
48	20	100	126.14	26.14%

Closed loop Dc-Dc Boost converter



Gambar 6. Tegangan *output* untuk *closed loop* (D=0.62, V_{in}=38V, R=20, I_o= 5A, V_o=99.995V)

Berdasarkan hasil simulasi dapat dibandingkan keefektifan sistem closed loop dalam memperbaiki offset (gambar 7).



Gambar 7. Perbandingan tegangan *output* kedua sistem

Pengujian selanjutnya adalah melakukan variasi nilai beban untuk mengetahui performance dari sistem ditunjukkan pada tabel 3. Berdasarkan hasil pengujian tersebut diperoleh rata-rata tegangan *output* yang dihasilkan terhadap perubahan beban adalah 99.997 V dengan rata-rata *error* 0.0029%.

Tabel 3. Tegangan *output boost* konverter *closed loop* system (Pembebanan berubah)

D	V _{in} (Volt)	I _{in} (Ampere)	R (Ohm)	I _o (Ampere)	V _o (Volt)	error
0.62	38	27.35	10	9.99	99.991	0.009%
0.62	38	14.16	20	5	99.995	0.005%
0.62	38	7.57	40	2.49	99.997	0.003%
0.62	38	5.38	60	1.66	99.998	0.002%
0.62	38	4.28	80	1.25	99.998	0.002%
0.62	38	3.62	100	0.99	99.998	0.002%
0.62	38	3.18	120	0.83	99.998	0.002%
0.62	38	2.87	140	0.71	99.998	0.002%
0.62	38	2.63	160	0.62	99.999	0.001%
0.62	38	2.44	180	0.55	99.999	0.001%

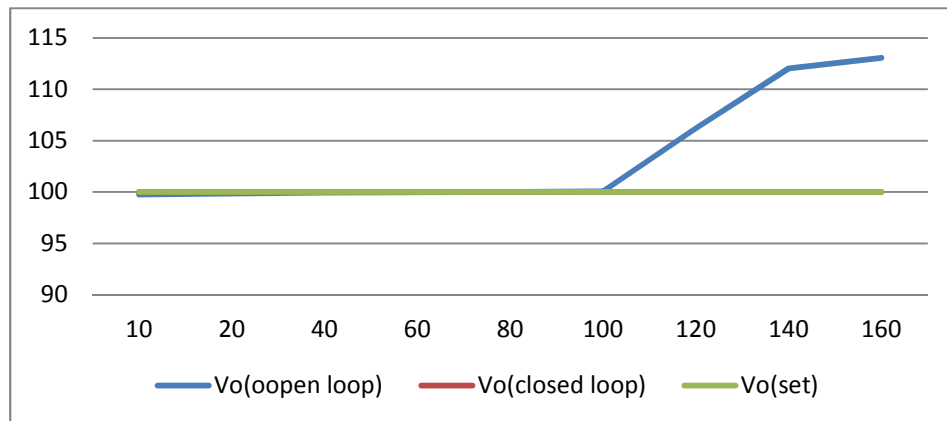
Pengujian selanjutnya adalah apabila terjadi fluktuasi tegangan *input* yang berasal dari *fuel cell*, sama seperti pengujian pada sistem *open loop*, hasilnya dapat dilihat pada tabel 4. Berdasarkan hasil simulasi ketika diberi tegangan input sebesar 26V – 48V maka rata-rata tegangan output yang dihasilkan adalah sebesar 99.982V dengan rata-rata error sebesar 0.017%.

Hasil pengujian menunjukkan kedua sistem memberikan respon yang berbeda ketika diberi variasi beban dan variasi tegangan input, dapat dilihat melalui grafik berikut (Gambar 8 dan 9). Berdasarkan grafik tersebut, *closed loop* dc-dc *boost converter* memiliki *performance* yang baik dalam mempertahankan tegangan *output* agar tetap berada sangat dekat dengan *set point*, sehingga

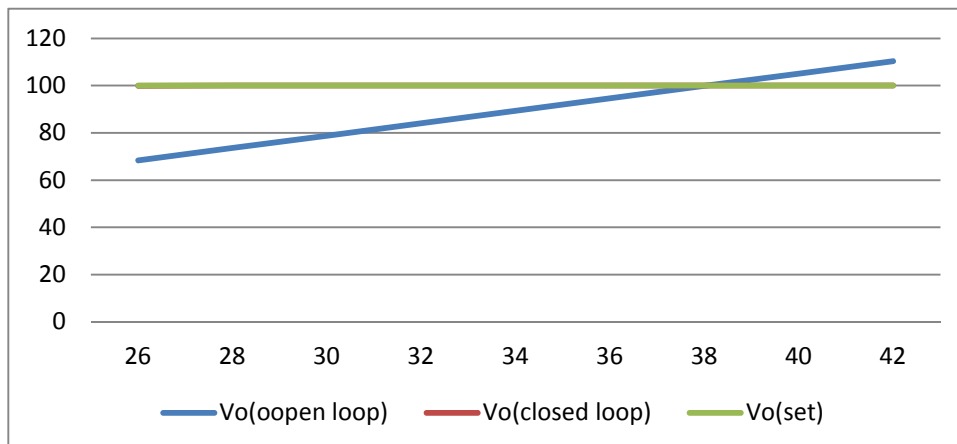
keterbatasan karakteristik Dc-Dc *boost* konverter konvensional dapat diperbaiki.

Tabel 4. Tegangan *output boost* konverter *closed loop system*
(Tegangan input berubah)

V_{in} (Volt)	R (Ohm)	V_o ref (Volt)	V_o (Volt)	error
26	20	100	99.843	0.157%
28	20	100	99.993	0.007%
30	20	100	99.994	0.006%
32	20	100	99.994	0.006%
34	20	100	99.995	0.005%
36	20	100	99.995	0.005%
38	20	100	99.995	0.005%
40	20	100	99.995	0.005%
42	20	100	99.996	0.004%
44	20	100	99.996	0.004%
46	20	100	99.996	0.004%
48	20	100	99.996	0.004%



Gambar 8. Perbandingan respon kedua sistem terhadap perubahan beban



Gambar 9. Perbandingan respon kedua sistem terhadap perubahan tegangan input

KESIMPULAN

1. Penggunaan Dc-Dc *boost converter* dapat mengoptimalkan kinerja sistem *fuel cell*, karena karakteristik tegangan *output fuel cell* yang relatif rendah.
2. Sesuai dengan rancangan sistem *boost converter*, tegangan *output* yang dihasilkan pada sistem *open loop* masih jauh dari set point (100 Volt) yaitu sebesar 99.86 Volt (error = 0.14%), setelah sistem diubah ke *closed loop* menggunakan kontrol PI, menghasilkan tegangan *output* yang lebih baik dan lebih mendekati set point (100 Volt) sebesar 99,995 Volt (error = 0.005%).
3. Gambar 7 menunjukkan bahwa penggunaan kontrol PI memperbaiki *over shoot* dan *settling time* pada sistem.
4. Hasil simulasi kedua sistem menunjukkan tegangan *output* Dc-Dc *boost converter* yang dihasilkan pada sistem *open loop* seiring dengan bertambahnya beban semakin jauh dari nilai *set point*-nya (100 Volt) dengan *error* rata-rata yang dihasilkan 5.174%. Melalui sistem *closed loop* menggunakan kontrol PI, dengan menentukan koefisien K_p dan T_i yang tepat, karakteristik sistem tersebut dapat diperbaiki sehingga *error* rata-rata menjadi 0.0029%. tegangan *output* dijaga agar tetap stabil.
5. Hasil simulasi menunjukkan apabila terjadi fluktuasi tegangan input *fuel cell* (26 Volt sampai 48 Volt), diluar set poin tegangan input 38 Volt, tegangan *output* dc-dc *boost converter* yang dihasilkan pada sistem *open loop* bervariasi, dengan *error* rata-rata yang dihasilkan 15.79%. Melalui sistem *closed loop* menggunakan kontrol PI, karakteristik sistem tersebut dapat diperbaiki sehingga *error* rata-rata menjadi 0.017%. tegangan *output* dijaga agar tetap stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Brigitte Hauke (2009) Basic Calculation of a Boost Converter's Power Stage", *Texas Instruments*, Vol. 1, No. 1, pp 1-8.
- Kirubakaran, A., Jain, S., Nema, R.K (2009) A Review on Fuel Cell Technologies and Power Electronic Interface, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, No. 9, pp. 2430-2440.
- Kirubakaran, A., Shailendra Jain, Nema, R.K (2009) The PEM Fuel Cell System with DC/DC Boost Converter: Design, Modeling and Simulation, *International Journal of Recent Trends in Engineering* Vol.1, Issue No.3, pp. 157-161.
- Seyezhai, R (2011) Design Consideration of Interleaved Boost Converter for Fuel Cell Systems", (IJAEST) *International Journal of Advance Engineering Sciences and Technologies*, Vol No.7, Issue No. 2, pp. 323-329.
- Sumita Dhali, Nageshwara Rao, P., Praveen Mande, Venkateswara Rao, K (2012) PWM-Based Sliding Mode Controller for DC-DC Boost Converter", (IJERA) *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol.2, Issue. 1, pp.618-623.